

УДК 616.831-006.6

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-23-29>

© Суханов В.А., Чернова О.Н., Важенин А.В., 2020 г.

ПРИЧИНЫ «НЕУДАЧ» ПРИ МРТ T2* - И КТ-ПЕРФУЗИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА, АНАЛИЗ СОБСТВЕННОГО ОПЫТА

В. А. Суханов, О. Н. Чернова, А. В. Важенин

Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины, г. Челябинск, Россия

Введение. Детально проанализировав опыт выполнения перфузионных исследований головного мозга, мы провели анализ выявленных ошибок при выполнении и интерпретации исследований. Полученные данные позволили лучше понимать причины, приведшие к возникновению ошибок, и избегать их в дальнейшей практике. **Цель исследования:** снижение количества перфузионных исследований головного мозга, интерпретация которых невозможна или может быть выполнена с ошибками. Задачи: проанализировать причины, которые привели к невозможности оценки перфузии или сложностям интерпретации полученных данных, разделить их по группам факторов, повлиявших на ход исследования. Разработать алгоритм действий для снижения количества «неудачных» исследований. **Материалы и методы.** В ходе исследования ретроспективной оценке подверглись 275 КТ- и МРТ-исследований с выполненной перфузией головного мозга в период с 2017 по 2019 г. **Результаты.** Результатом данного исследования стало снижение количества неинформативных исследований и ошибок при интерпретации корректно полученных данных. **Выводы.** Контроль выполнения перфузионных МРТ- и КТ-исследований позволяет избежать получения неинформативных исследований. Соблюдение и стандартизация методики оценки исследования позволяют оценивать динамику изменений, независимо от модальности.

Ключевые слова: перфузия головного мозга, опухоли, МРТ-перфузия, КТ-перфузия, головной мозг, ошибки

Контакт: Суханов Василий Алексеевич, sukhanovva@chelonco.ru

© Sukhanov V.A., Chernova O.N., Vazhenin A.V., 2020

CAUSES OF «FAILURES» ON MRI T2* AND CT BRAIN PERFUSION, THE ANALYSIS OF OUR OWN EXPERIENCE

Vasilii A. Sukhanov, Oksana N. Chernova, Andrey V. Vazhenin

Chelyabinsk regional clinical center of Oncology and nuclear medicine, Chelyabinsk, Russia

Introduction. We examined the experience of performing perfusion studies of the brain, and analyzed the errors in the procedure and interpretation of studies. The data obtained made possible to understand better the reasons that led to errors and how to avoid them in future practice. **Purpose:** to reduce the number of perfusion studies of the brain, which interpretation is not possible or might be performed with errors. Objectives: to analyze the reasons that led to the inability to analyze the perfusion or difficulties in interpretation of the data obtained, to divide them into groups of factors that influenced the study. To develop an algorithm to reduce the number of «unsuccessful» studies. **Materials and methods:** retrospectively evaluated 275 CT and MRI studies of brain perfusion performed between 2017 and 2019. **Results:** the result of this study was a reduction of the number of uninformative studies and errors in the interpretation of correctly obtained data. **Conclusion:** monitoring the MRI and CT perfusion studies allows to avoid uninformative studies. The standardization of the examination method allows to evaluate the dynamics of changes, regardless of modality

Key words: brain perfusion, MR-perfusion, brain, tumor, CT-perfusion, pitfalls.

Contact: Sukhanov Vasilii Alekseevich, sukhanovva@chelonco.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Суханов В.А., Чернова О.Н., Важенин А.В. Причины «неудач» при МРТ T2* - и КТ-перфузии головного мозга, анализ собственного опыта // *Лучевая диагностика и терапия*. 2020. Т. 11, № 4. С. 23–29, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-23-29>.

Conflict of interests: the author stated that there is no potential conflict of interests.

For citation: Sukhanov V.A., Chernova O.N., Vazhenin A.V. Causes of «failures» on MRI T2* and CT brain perfusion, the analysis of our own experience // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2020. Vol. 11, No. 4. P. 23–29, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-23-29>.

Введение. В настоящее время компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) предоставляют данные не только о структурах головного мозга, которые мы получаем при выполнении рутинного сканирования, но и об особенностях клеточной структуры ткани при выполнении МР-диффузии, кровоснабжении при

выполнении МРТ- и КТ-ангиографии и/или перфузии, содержания и концентрации ряда метаболитов в ткани при применении МР-спектроскопии. Использование дополнительных последовательностей на МРТ, применение различных методик контрастирования на МРТ и КТ значительно улучшают возможности методов в дифференциальной диагно-

стике между различными патологическими процессами в головном мозге, где рутинных последовательностей недостаточно ввиду схожей семиотики разных патологических процессов, требующих в ряде случаев кардинально отличающихся тактик лечения.

По данным литературы, при оценке опухолей головного мозга диагностическая ценность МРТ- или КТ-исследований с выполнением перфузии головного мозга превосходит диагностическую точность рутинного исследования с контрастным усилением за счет значительного повышения специфичности методов без существенного изменения чувствительности [1, с. 10–19; 2, с. 475–487; 3, с. 277–289]. Выполнение МРТ-/КТ-исследования с перфузией позволяет оценить не только структурные изменения головного мозга, но и измерить параметры кровотока, сосудистой проницаемости в тканях головного мозга, что расширяет диагностические и прогностические возможности методов.

Цели и задачи. Целью нашего исследования стал анализ причин, которые привели к невозможности оценки или сложности интерпретации полученных данных при выполнении перфузии головного мозга, разделение их по группам факторов, повлиявших на ход исследования, разработки алгоритмов действий для снижения количества неинформативных исследований. Полученные данные позволили повысить качество выполнения перфузионных исследований головного мозга за счет уменьшения количества ошибок на этапах проведения исследования.

Материалы и методы. Исследование выполнялось в отделении рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины», в ходе исследования ретроспективной оценке подверглись 275 КТ- и МРТ-исследований с выполненной перфузией головного мозга в период с 2017 по 2019 г.

МРТ-исследования головного мозга с перфузией выполнялись на томографе HDe Signa производства GE с напряженностью поля 1,5 Т, в качестве катушки использовалась фазированная 8-канальная головная катушка, на первом этапе выполнялось рутинное сканирование с набором стандартных последовательностей, в том числе выполнением T1 3D SPGR с толщиной среза 1,2 мм, далее выполняли T2*-перфузию с болюсным контрастным усилением, завершали сканирование получением постконтрастной серии T1 3D SPGR с толщиной среза 1,2 мм. Для оценки перфузии при МРТ-исследовании мы использовали метод динамической восприимчивости, основанный на T2*-взвешенных изображениях, с последующей деконволюцией кривой первого прохождения болюса, протяженность области сканирования составляла 66 мм.

КТ-исследования головного мозга с перфузией выполнялись на томографе Toshiba Aquilion LB. Мы проводили нативное сканирование головного мозга,

далее выполнялась перфузия с динамическим контрастированием, протяженность области сканирования составляла 32 мм. Для оценки КТ-перфузии использовали специальный протокол динамического сканирования и обработки данных. После выполнения перфузии проводилось повторное сканирование головного мозга для получения срезов с контрастным усилением. КТ-перфузия была выполнена пациентам, имеющим абсолютные противопоказания к проведению МРТ-исследования, аллергические реакции на парамагнитный контрастный препарат, а также всем пациентам, у которых оценка выполненной МРТ-перфузии вызывала трудности ввиду наличия артефактов или недостаточного пространственного разрешения.

Контрастирование при обеих модальностях выполнялось с помощью автоматических двухколбовых инжекторов, внутривенно болюсно вводились контрастные вещества, 1,0-молярный парамагнитный контрастный препарат в дозе 0,1 мл/кг при МРТ-исследовании или низкомолекулярный неионный йодосодержащий контрастный препарат с концентрацией 300 мг/мл в дозе 50 мл при КТ-исследовании. Независимо от используемой модальности скорость введения контрастного вещества всегда составляла 4,5 мл/с, завершали введение инъекцией 30 мл 0,9% изотонического раствора натрия хлорида с той же скоростью введения. Венозный доступ осуществлялся в периферические вены правой руки для исключения яремного заброса [4, с. 154–166].

Использование автоматического инжектора позволяло достичь максимальной воспроизводимости параметров введения контрастного вещества, высокой и постоянной скорости введения, одинакового объема введения контрастного вещества. Важным фактором являлось введение контрастного вещества непосредственно во время динамического сканирования для получения до- и постконтрастных изображений в одной серии для возможности дальнейшей обработки перфузионного исследования [5, с. 175–207].

Обработка исследования и построение карт перфузии для оценки перфузионных показателей осуществлялись на рабочих станциях с использованием специализированного программного обеспечения. Ввиду большого количества факторов, влияющих на абсолютные значения показателей перфузии в ткани (различия в алгоритмах получения и обработки данных у разных производителей, разница в программном обеспечении для обработки полученных данных), их повторяемость даже при выполнении исследований у одного пациента в разные периоды наблюдения может значительно различаться [6, с. 22–29]. По этой причине применение абсолютных показателей перфузии ограничено. Для оценки показателей перфузии мы использовали отношение значений перфузии в структуре измененной паренхимы головного мозга к показателям в участке неизменного белого вещества. Отношение

значений CBV и CBF в области интереса к аналогичным показателям в неизменном белом веществе может оцениваться в динамике у одного пациента, а также между пациентами для выявления закономерностей в перфузионных показателях различных патологий, что согласно данным литературы допустимо [6, с. 22–29; 7, с. 41–51]. При выполнении измерений мы выбирали области интереса (ROI — region of interest) тканевой структуры, имеющие признаки структурных изменений. При выполнении перфузионных исследований возможно оценивать целый ряд показателей гемодинамики и проницаемости сосудистой стенки, мы в своих исследованиях определяли относительные значения параметров rCBV (relative cerebral blood volume) — относительный объем крови в данной области ткани головного мозга (измеряется в миллилитрах/100 г ткани головного мозга), по данным литературы этот параметр коррелирует со временем до рецидива глиальной опухоли и течением заболевания [7, с. 41–51; 8, с. 486–496], а также позволяет с высокой точностью дифференцировать продолженный рост или рецидив заболевания и псевдопрогрессию или лучевой некроз [8, с. 486–496], rCBF (relative cerebral blood flow), относительный объем крови, проходящей через заданную область ткани головного мозга за единицу времени (миллилитров в минуту/100 г ткани головного мозга), MTT — среднее время прохождения крови через заданную область ткани головного мозга (измеряется в секундах), TTP — время до достижения максимальной концентрации контрастного препарата в участке ткани.

При ретроспективном анализе проведенных исследований на этапе освоения методики референсная область выбиралась методом «отзеркаливания» ROI относительно осевой линии, проведенной через фалькс или его проекцию. Такой выбор референсного ROI значительно влиял на полученные данные. Впоследствии выбор референсной области осуществлялся с соблюдением ряда требований, несоблюдение которых могло в значительной степени повлиять на полученные результаты в сторону получения как ложноположительных, так и ложноотрицательных результатов [9, с. 32–40; 10, с. 24–34].

Результаты и их обсуждение. Для ретроспективной оценки были отобраны 275 архивных исследований с отчетами о выполнении КТ- и МРТ-исследований с перфузией головного мозга у 175 пациентов, проведенных в период с 2017 по 2019 г. Результаты всех исследований подвергались двойному просмотру.

Все трудности при выполнении и оценке исследования можно разделили на три группы согласно этапам проведения исследования: ограничения при сборе данных, ошибки при контрастировании, сложности при интерпретации полученных данных. В результате проведенного анализа было выделено 25 выполненных исследований (9% от общего коли-

чества перфузионных исследований), оценка которых вызывала затруднения или была не возможна.

В первую группу вошли исследования с ограничениями на этапе сбора данных, связанными с наличием артефактов в зоне интереса (11 исследований, что составило 44% от всех неудавшихся исследований и 4% от общего количества перфузионных исследований), это были артефакты от металла или костей основания черепа, что значительно ограничивало возможности применения МРТ T2*-перфузии, так как данный вид перфузии основан на регистрации изменения T2-релаксации при введении парамагнитного контрастного препарата, а наличие пара- или ферромагнетика в области интереса делало невозможным достоверный сбор данных, учитывая высокую чувствительность последовательностей для выполнения МРТ T2*-перфузии к неоднородности магнитного поля, значительно более выраженную, чем последовательностей, применяемых для структурной МРТ. Стоит отметить, что все исследования с артефактами были представлены МР-перфузией. Артефактов, мешавших интерпретации полученных данных при выполнении КТ-перфузии, выявлено не было. Мы объясняем это более низкой чувствительностью КТ-перфузии к наличию мелких металлических включений в зоне интереса и наличием современного программного пакета подавления артефактов от металла (рис. 1).

Ко второй группе были отнесены случаи со сложностями в обработке полученных данных, которые нами наблюдались в 10 исследованиях, что составило 40% всех исследований с неудовлетворительным качеством для оценки и 3,6% общего количества выполненных нами перфузионных исследований. Сложности определялись при близком расположении области интереса к крупным сосудам и/или при малых размерах области интереса (рис. 2).

Третья группа неудавшихся перфузий связана с ошибками при контрастировании, которые были выявлены в 4 случаях (16% всех неудавшихся исследований и 1,5% общего количества перфузионных исследований). В 3 случаях определялась экстравазация контрастного препарата. В единственном случае была нарушена методика контрастирования: при построении графика зависимости концентрации от времени мы выявили несвоевременное введение контрастного препарата во время динамического сканирования, что привело к невозможности оценки полученных карт (рис. 3).

Анализ ошибок при перфузионных исследованиях позволил определить причины их возникновения, выделить ключевые моменты для понимания их причин.

1. Из полученных данных видно, что чаще всего, в 44% всех неудавшихся исследований, встречались артефакты при сборе данных на МР-перфузии. Наиболее выраженные артефакты определялись от металлических включений разного происхождения (мелкие фрагменты инструмента, оставшиеся

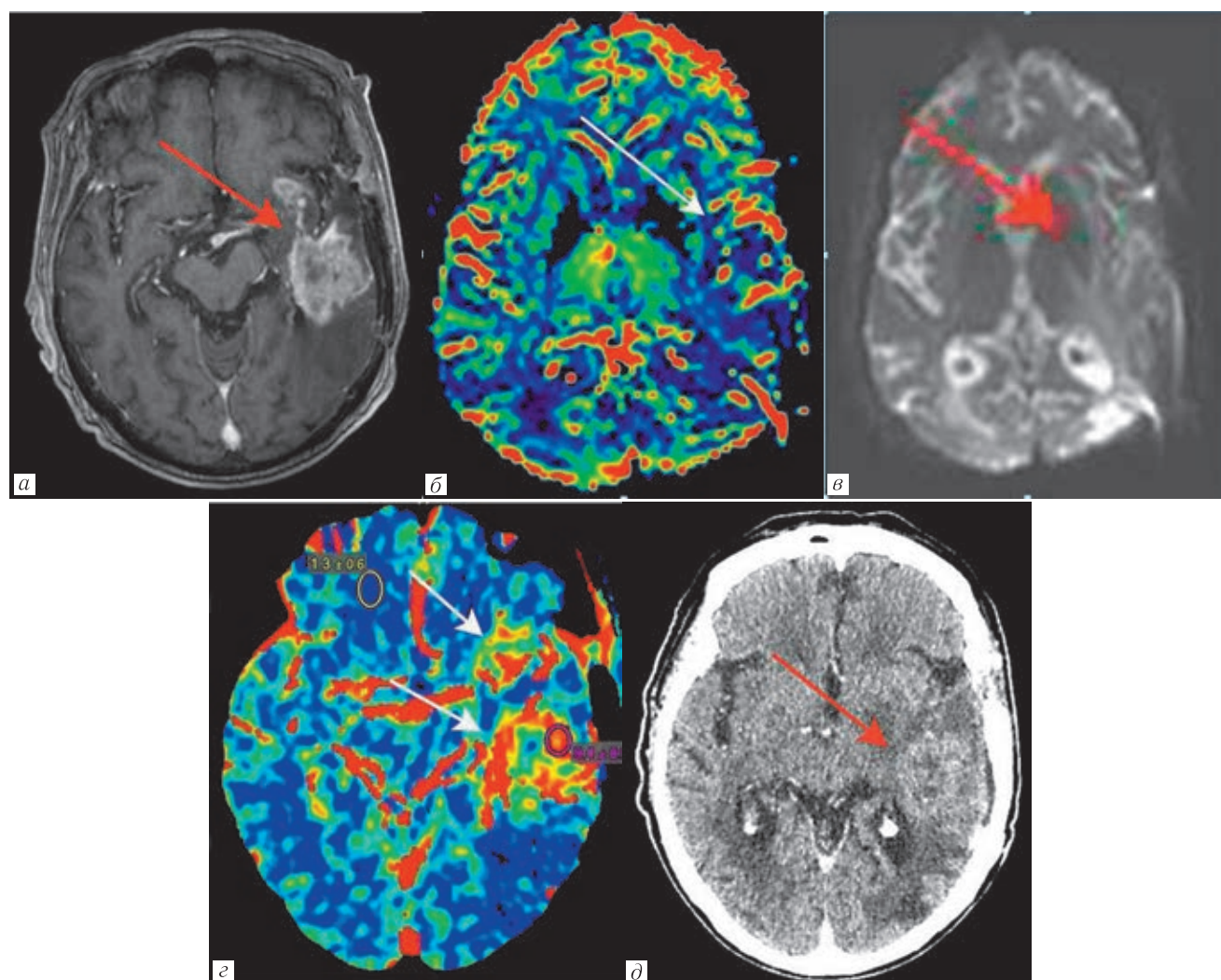


Рис. 1. Представлен случай пациентки Л. с рецидивом глиобластомы в левой височной области, на уровне проведенного оперативного и лучевого лечения, на томограммах, взвешенных по T1, с контрастным усилением определяется неоднородное интенсивное накопление контрастного вещества в структуре объемного образования (а), при выполнении T2*-перфузии на полученных картах CBV данных, свидетельствующих о повышении показателей кровотока в области накопления контрастного вещества, не получено (б). При детальном исследовании на томограммах, полученных при выполнении T2*-перфузии, определяются выраженные артефакты от металлических включений в области интереса, что значительно повлияло на качество перфузионных карт, в частности CBV (в). При выполнении КТ-перфузии у данной пациентки через 2 дня после МРТ-перфузии на картах CBV определяется повышение объема кровотока в 6 раз относительно неизменного белого вещества (г) на уровне участков патологического накопления контрастного вещества (д)

Fig. 1. The case of patient L. with recurrent glioblastoma in the left temporal region at the level of operative and radiation treatment for tomograms T1 weighted image with CE due to the heterogeneous intensive accumulation of contrast agent in the structure of the tumor (a), when performing T2*-perfusion on CBV maps obtained data for the increase of the blood flow in the accumulation of a contrast agent is not obtained (b). A detailed assessment of the study on tomograms obtained during T2* perfusion revealed pronounced artifacts from metal inclusions in the area of interest, which significantly affected the quality of perfusion maps, in particular CBV (v). When performing CT perfusion in this patient, 2 days after MRI perfusion, CBV maps demonstrate a 6 times increase in blood flow volume relative to the unchanged white matter (g) at the level of areas of pathological accumulation of contrast material (d)

в структуре костной ткани после выполнения костно-пластической трепанации черепа, специальные элементы для иммобилизации фрагмента кости в области оперативного доступа, различные элементы для пластики костных дефектов). У пациентов, не получавших хирургическое лечение, также встречались выраженные артефакты, в области передней и средней черепных ямок от костей основания черепа,

несъемных зубных протезов, коронок, имплантатов, несъемных ювелирных украшений и др. При ретроспективном анализе обнаружено, что во всех случаях, когда выявлялись артефакты, мы могли бы своевременно принять решение не проводить МР-перфузию ввиду невозможной дальнейшей оценки полученных данных и рассмотреть возможность проведения КТ-перфузии. На томограммах в данной

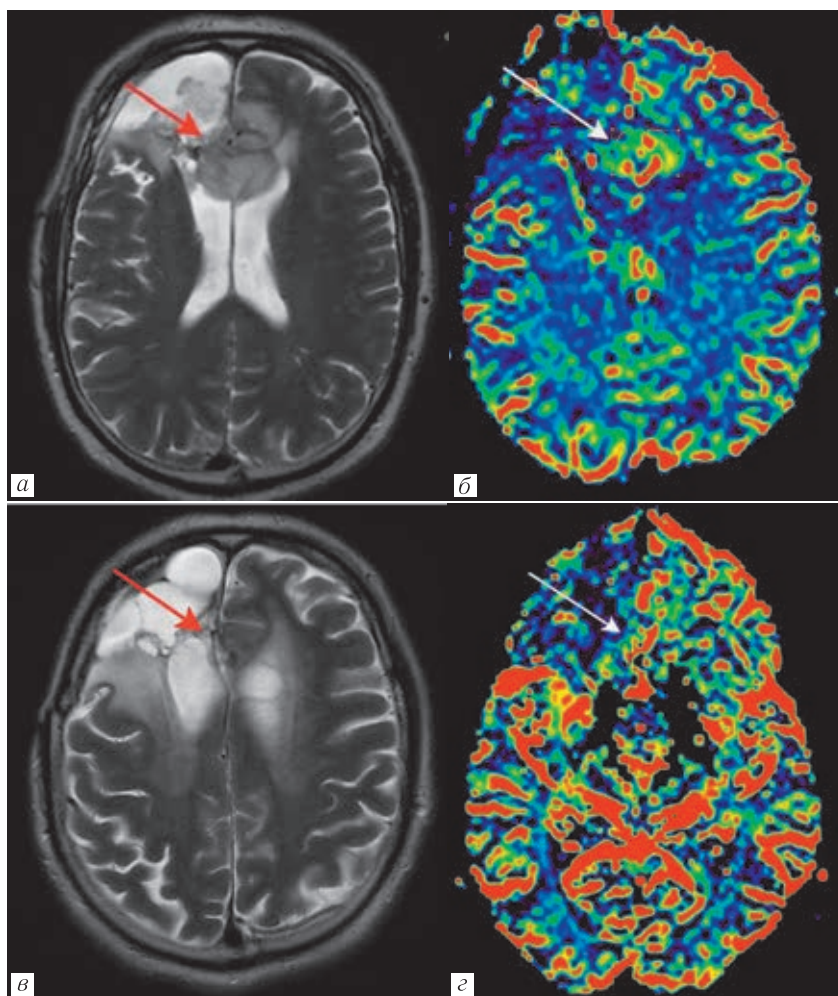


Рис. 2. Представлен случай пациента К. после оперативного лечения определяется остаточная опухоль на томограммах Т2-ВИ (а) с повышением значений rCBV в структуре образования в 2,6 раза относительно неизменного белого вещества (б). После лучевого лечения и последующей химиотерапии в динамике определяется уменьшение размеров остаточной опухоли на Т2-ВИ (в), оценка параметров кровотока в участках, расцениваемых как остаточная опухоль на Т2-ВИ, была невозможна ввиду недостаточной разрешающей способности метода Т2*-перфузии при оценке образований небольшого размера (г)

Fig. 2. The case of patient K. after surgical treatment, a residual tumor is detected on T2 tomograms (a) with an increase in the rCBV values in the structure of the formation by 2.6 times relative to the unchanged white matter (б). After radiation treatment and subsequent chemotherapy, the dynamics of a decrease in the size of the residual tumor on T2 (в) is determined. the assessment of blood flow parameters in areas considered as a residual tumor on T2 was not possible due to the insufficient resolution of the T2* perfusion method when evaluating small formations (г)

группе пациентов в области интереса определялись артефакты уже при выполнении структурного МРТ, а именно на МР-последовательности, максимально близкой к Т2*-перфузии по чувствительности к артефактам, а именно ДВИ с $b=0$; это связано с тем, что обе последовательности основаны на Т2-взвешенном градиентном эхе. Наиболее важно определить, попадает ли зона интереса в область искаженного сигнала. В дальнейшем при выявлении выраженных артефактов в зоне интереса на томограммах ДВИ с $b=0$ нами принималось решение о выполнении КТ-перфузии. Впоследствии данные пациенты наблюдались в динамике с выполнением структурного МРТ-исследования головного мозга без контрастного усиления с последующей КТ-перфузией.

2. Неверно выбранная тактика выполнения исследования явилась причиной «неудач» в 40%

всех неудавшихся исследований. Все случаи были представлены попыткой оценки образований, расположенных близко к сосудам и/или малых размеров (связано с ограничениями методики). Так, для участков накопления контрастного вещества, минимальный размер которых менее 5 мм, достоверная оценка значений перфузии была невозможна ввиду недостаточного пространственного разрешения и искажения значений, полученных при измерении в области интереса, за счет усреднения, преимущественно в сторону занижения измеряемых значений и как следствие происходило занижение показателей rCBV и rCBF. Ситуация с завышением значений rCBV и rCBF определялась в случаях расположения участка с размером менее 7 мм в непосредственной близости от крупного артериального или венозного сосуда за счет усреднения. КТ-перфузия, имеющая

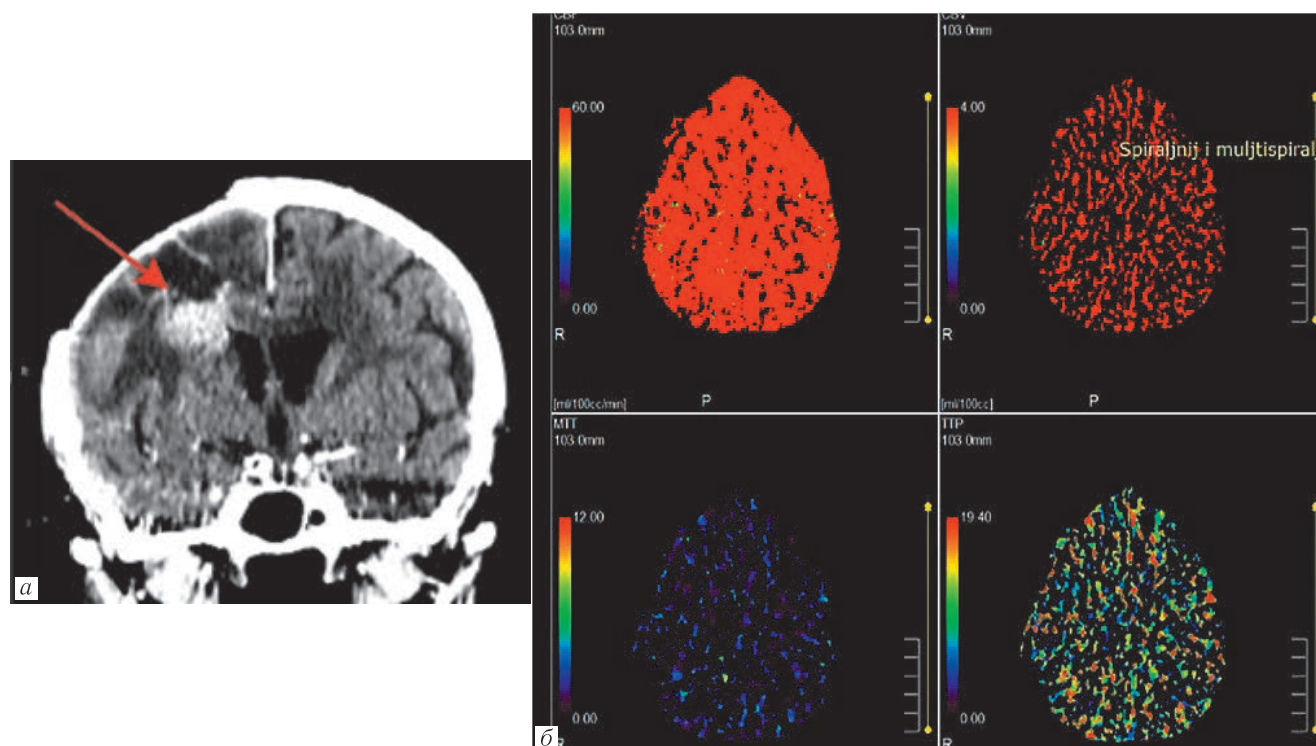


Рис. 3. Представлен случай пациентки К. после оперативного и лучевого лечения глиобластомы лобно-теменной области справа. На томограммах с контрастным усилением определяется остаточная опухоль (а).

Несвоевременное введение контрастного вещества привело к невозможности оценки перфузии в структуре головного мозга и определяемом образовании (б)

Fig. 3. The case of patient K., after surgery and radiation treatment of glioblastoma of the frontoparietal region on the right. CT scans with CE show a residual tumor (a). Untimely administration of a contrast agent made it impossible to assess perfusion in the brain structure and the defined formation (b)

лучшее пространственное разрешение, только в 2 из 10 случаев позволила оценить перфузионные показатели в интересующих очагах, в дальнейшем эти пациенты наблюдались в динамике с выполнением структурного МРТ с последующей КТ-перфузией.

Немаловажным для исключения завышения или занижения показателей $rCBV$ и $rCBF$ является выбор референсного ROI, к которому мы предъявляем ряд требований:

- в область референсного ROI должно входить неизмененное белое вещество головного мозга, в выполненных нами исследованиях выбор области для измерений референсных значений выполнялся с использованием последовательностей T2 и T2 FLAIR, исключались все T2- и T2 FLAIR-позитивные зоны, а также области с наличием «масс-эффекта» вследствие объемного воздействия;

- из референсного ROI и области интереса мы исключали крупные сосудистые структуры, для визуализации которых использовали T1 с контрастным усилением;

- выбранные нами референсные ROI находились в любой области, где есть неизменное белое вещество, предпочтение отдавалось области лучистого венца, при этом допускается несимметричное расположение ROI референсной области относительно ROI в патологическом очаге, а также расположение ROI на разных уровнях исследования.

Несоблюдение рекомендаций по выбору ROI влечет за собой значительные отклонения относительных показателей CBV и CBF как в сторону занижения, так и в сторону завышения, что не позволяет достоверно оценивать показатели перфузии в динамике особенно при методически разном подходе к выбору референсного ROI. Важным моментом является невозможность прогнозировать течение заболевания, без стандартизации подхода к выбору референсной области. При сравнительной оценке методик выбора референсного ROI различия полученных референсных значений представлены на рис. 4.

Проблемы с контрастированием встречались реже всех остальных и были представлены в большинстве случаев экстравазацией ввиду плохого периферического доступа. При выполнении перфузионных исследований выбор периферического доступа значительно ограничен, так как для исключения яремного заброса рекомендовано контрастирование в правую руку [11, с. 554–577; 12, с. 41–51; 13, с. 473–488]. Требование к высокой скорости контрастирования диктует использование катетеров с большим проходным сечением (18G или 20G), постановка которых возможна только в вену соответствующего диаметра, что осложняется слабостью венозной стенки у возрастных пациентов и значительно затрудненным периферическим доступом у пациентов с многочисленными циклами химиотерапии в анамнезе.

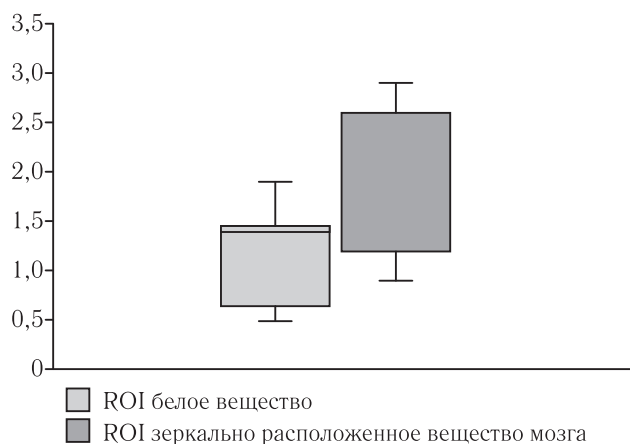


Рис. 4. Диапазон значений, полученных при зеркальном расположении референсной зоны интереса, значительно шире и имеет тенденцию к завышению значений относительно стандартизованного подхода с использованием в качестве референсной области неизменного белого вещества, где разброс значений значительно менее выражен

Fig. 4. The range of values obtained when the reference area of interest is mirrored much wider and tends to overestimate the values relative to the standardized approach using unchanged white matter as the reference area, where the spread of values is presented much lower

Во всех случаях, в которых были выявлены проблемы с контрастированием, построение и оценка

перфузионных карт не проводились. Случаев яремного заброса при выполнении исследований не выявлено.

Таким образом, для проведения качественного перфузионного исследования необходимо соблюдать ряд условий:

- выбор методики перфузионного исследования (КТ или T2*МРТ) в зависимости от наличия противопоказаний и ожидаемой диагностической ценности исследования;

- после получения данных структурного МРТ или КТ оценка целесообразности выполнения перфузионного исследования;

- контроль выполнения контрастирования (выбора стороны периферического венозного доступа, скорости введения препарата, соблюдения методики сбора данных).

Выводы. Контроль выполнения МРТ- и КТ-перфузионных исследований со стороны врача в большинстве ситуаций позволяет избежать получения неинформативных исследований, а в ряде случаев вовремя принимать решение о нецелесообразности проведения данной методики. Соблюдение и стандартизация методики оценки исследования позволяют оценивать изменения параметров кровотока в структуре образований головного мозга в динамике, даже в случаях применения разных методов исследования.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Савинцева Ж.И., Трофимова Т.Н., Скворцова Т.Ю., Бродская З.Л. Сопоставление информативности МР-перфузии и ПЭТ с $[^{11}\text{C}]$ метioniном в дифференциации продолженного роста церебральных опухолей и лучевых поражений головного мозга после комбинированного лечения // *Медицинская визуализация*. 2014. № 5. С. 10–19. [Savintseva Z.I., Trofimova T.N., Skvortsova T.Yu., Brodskaya Z.L. Direct Comparison of Perfusion Magnetic Resonance Imaging with $[^{11}\text{C}]$ Methionine PET in Differentiating Brain Tumor Recurrence From Radiation-Induced Brain Injury after Combined Treatment. *Medical Visualization*, 2014, No. 5, pp. 10–19 (In Russ.).]
2. Cha S. Update on brain tumor imaging: from anatomy to physiology // *AJNR*. 2006. Vol. 27. P. 475–487.
3. Paldino M.J., Barboriak D.P. Fundamentals of quantitative dynamic contrast-enhanced MR imaging // *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am.* 2009. Vol. 17. P. 277–289.
4. Jackson A. Analysis of dynamic contrast enhanced MRI // *Br. J. Radiol.* 2004. Vol. 77 (spec no 2). P. 154–166.
5. Petrella J.R., Provenzale J.M. MR perfusion imaging of the brain: techniques and applications // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2000. [PubMed: 10882275].
6. Panagiotis K., Erickson B. The basics of diffusion and perfusion imaging in brain tumors. Department of Radiology, Mayo Clinic, Rochester, MN 55905 Published in final edited form as: *Appl. Radiol.* 2014. July. P. 175–207.
7. ASFN recommendations for clinical performance of MR dynamic susceptibility contrast perfusion imaging of the brain // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2015. Jun. P. 41–51. doi: 10.3174/ajnr.A4341. Epub 2015 Apr 23.
8. Barajas R.F., Chang J.S., Segal M.R., Parsa A.T., McDermott M.W., Berger M.S., Cha S. Differentiation of Recurrent Glioblastoma Multiforme from Radiation Necrosis after External Beam Radiation Therapy with Dynamic Susceptibility-weighted Contrast-enhanced Perfusion MR Imaging // *Radiology*. 2009. P. 486–496. doi: 10.1148/radiol.2532090007.
9. Трофимова Т.Н. Нейрорадиология: оценка эффективности хирургии и комбинированной терапии глиом // *Практическая онкология*. 2016. Т. 17, № 1. С. 32–40. [Trofimova T.N. Neuroradiology: evaluation of the effectiveness of surgery and combined glioma therapy. *Practical oncology*, 2016, Vol. 17, No. 1, pp. 32–40 (In Russ.).]
10. Essig M., Shiroishi M.S., Nguyen T.B. et al. Perfusion MRI: the five most frequently asked technical questions // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2013. P. 24–34.
11. Jahng G.-H., Li K.-L., Ostergaard L., Calamante F. Perfusion magnetic resonance imaging: a comprehensive update on principles and techniques // *Korean J. Radiol.* 2014. P. 554–577.
12. Welker K., Boxerman J., Kalnins A. et al. ASFN recommendations for clinical performance of MR dynamic susceptibility contrast perfusion imaging of the brain // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2015. P. 41–51.
13. Huang A.P., Tsai J.C., Kuo L.T. et al. Clinical application of perfusion computed tomography in neurosurgery // *J. Neurosurg.* 2014. Vol. 120 (2). P. 473–488.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 20.10.2020 г.

Авторский вклад в подготовку статьи:

Вклад в концепцию и план исследования — В.А.Суханов, О.Н.Чернова, А.В.Важенин. Вклад в сбор данных — В.А.Суханов, О.Н.Чернова, А.В.Важенин. Вклад в анализ данных и выводы — В.А.Суханов, О.Н.Чернова, А.В.Важенин. Вклад в подготовку рукописи — В.А.Суханов, О.Н.Чернова.

Сведения об авторах:

Суханов Василий Алексеевич — врач-рентгенолог рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии. ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины»; г. Челябинск Челябинской области, ул. Блюхера, д. 42; e-mail: suhanova@chelonco.ru;

Чернова Оксана Николаевна — заведующая отделением рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии. Кандидат медицинских наук. ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины»; г. Челябинск Челябинской области, ул. Блюхера, д. 42; e-mail: cherov-chel@mail.ru;

Важенин Андрей Владимирович — доктор медицинских наук, профессор, главный врач Челябинского областного клинического центра онкологии и ядерной медицины, академик Российской академии наук, заслуженный врач РФ, заведующий кафедрой онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии Южно-Уральского государственного медицинского университета; ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины»; г. Челябинск, ул. Блюхера, д. 42; e-mail: onco74@chelonco.ru.